

## 空気調速式圧縮点火機関の低速ハンチングに関する研究\*

### (第4報, 噴射量調節棒の応答位相に及ぼす模擬ベンチュリ径の影響)

川 副 嘉 彦\*\*

## Low Speed Hunting of the Pneumatically Governed Compression-Ignition Engine

### (4th Report, Effect of Simulated Venturi Diameter on Phase Lag of the Fuel Control Rack Response)

by Yoshihiko KAWAZOE

The effect of venturi diameter on phase lag of the fuel control rack response has been investigated using 5 different sizes of simulated venturi, which are similar in shape of flow passage to the original subventuri, installed in an apparatus simulating intake air flow under hunting, or in a hunting engine intake system. The results show that the difference between the phase lags of subventuri pressure and suction pressure is the characteristic attributed to the difference of diameter. Thus, the low speed hunting was confirmed to be the self-excited oscillation ascribed to the phase lag of the reduced pressure at the subventuri. Furthermore, this study provides a preventive measure against hunting.

**Key Words:** Vibration, Hunting, Low Speed Hunting, Pneumatic Governor, Compression-Ignition Engine, Subventuri, Phase Lag, Suction Pressure, Stability, Fuel Injection Pump

## 1. 緒 言

空気調速機関は、図1に示すように吸気管入口に絞り弁つき流路と細い直管のサブベンチュリを並列におき、回転速度に応じて後者に生ずる負圧を利用して燃料噴射ポンプの噴射量調節棒変位を制御し、絞り弁開度によって回転速度を設定する。しかし、この回転速度制御方式では低速領域に低速ハンチングと呼ばれる数ヘルツの遅い回転速度変動が起こる<sup>(1)-(3)</sup>。ハンチング時の負圧波形と噴射量調節棒変位波形は、ともに長周期振動と各シリンダの作動に対応する短周期振動との重なった形を示す<sup>(1)</sup>。

本研究は、4シリンダ四行程サイクル機関について、空気調速機関に固有の低速ハンチング現象がどのような理由で生まれるのかを明らかにし、その防止法を導くことが目的であり、第1報<sup>(1)</sup>では調節棒変位を制御する負圧を従来のサブベンチュリ(図2の取出口I)から取り出す代わりに、絞り弁とサブベンチュリに続く吸気管部分(図2の取出口II)から取り出す方法がハンチング防除に有効であり、回転速度の長周期

変動状態においてサブベンチュリ負圧の長周期変動の位相が吸気管負圧のそれより遅れることを示した。第2報<sup>(4)</sup>では両負圧特性の差異とハンチングの関係を明らかにするために、サブベンチュリ負圧制御の場合のハンチング発生、吸気管負圧制御の場合の非発生を周波数応答実験により検証した。さらに空気調速機系の動作方程式を正しく導いた<sup>(5)</sup>のち、第3報<sup>(6)</sup>ではハンチングの生成過程を計算機シミュレーションにより定量的に解明し、位相遅れのあるサブベンチュリ負圧制御では自励的持続振動が発生すること、遅れのほとんどない吸気管負圧制御では発振しないことを示した。

しかしサブベンチュリ負圧と吸気管負圧が位相差を示すことに必然性があるのか、偶発的なのか吟味をする必要がある。サブベンチュリは長さ20mm、内径10mm(管端より10mmの位置に圧力取出口が2mmほど突きでている)、吸気管の内径は48mmであり、検出部の最も大きな差違は径の大小である。この報告では、元来のサブベンチュリと流路の形が相似の模擬ベンチュリを大小5種類つくり、ハンチング時の吸気系の状態を模擬した装置またはハンチング状態の機関吸気系に組込んで負圧導管をグミー噴射ポンプ<sup>(1)</sup>に結び、噴射量調節棒の応答位相に及ぼす模擬ベンチュリ

\* 昭和60年6月1日 東海支部岐阜地方講演会において講演、原稿受付 昭和59年11月29日。

\*\* 正員、埼玉工業大学 (〒369-02 埼玉県大里郡岡部町普濟寺1690)。

径の影響を調べ、低速ハンチング防止の根源対策を示す。

2. 模擬ハンチング流装置による実験

図3と図4が模擬ハンチング流装置の外観および概略図であり、平均流量と長周期、短周期の変動流量を互いに独立に与えることができるように作ってある。排気量 181 cm<sup>3</sup> の単気筒機関を改作した往復ピストン装置 (図5) を V ベルトを介して直流電動機で駆動して吸気サイクルの短周期波を発生させ、排気量 376 cm<sup>3</sup> の単気筒機関改作装置 (図6) を V ベルト、無段変速機を介して三相誘導電動機で駆動して、ハンチング相当の長周期波を発生させる。さらに吸気流れの直流分を与えるために風量 1 m<sup>3</sup>/min の電気掃除機を使用している。元来のサブベンチュリに流路の形が相似の模擬ベンチュリ (図7, 図8) を作って、口径を φ7, 10, 14, 17, 20 に定め (図9), 交互に装置に組み込み、負圧導管をダミー噴射ポンプ<sup>(1)</sup> に結んだ状態で噴射量調節棒の応答位相に及ぼす模擬ベンチュリ径の影響を調べた。図4において短周期波発生装置の回転数  $N_E$  を最

大ハンチング時の回転数 790 rpm の2倍に定めた後、負圧導管入口の平均負圧  $\bar{P}_1$  を水柱マンメータを見ながら実機の場合と等しくなるように  $V_3, V_4$  のボールバルブで一定値に調整し、次に長周期波の周波数を 1.0, 1.5, 2.0, 3.0 Hz と変えて5種類の模擬ベンチュリ (径 φ7, φ10, φ14, φ17, φ20) について検出負圧の位相遅れを測定した。 $\bar{P}_1$  が一定ということは調節棒の平均変位が一定ということである。長周期回転変動に対する吸気管負圧  $P_3$  (図4) の位相遅れはないことがわかっている<sup>(1)</sup> ので、回転速度の代わりに  $P_3$  を位相の基準にとった。負圧、調節棒変位波形などをデータレコーダに記録してからデジタル解析機で位相差を求めた。

図10は  $\bar{P}_1 = 370 \text{ mm H}_2\text{O}$  (3.63 kPa) の場合の調節棒応答の位相差であり、1~3 Hz の周波数にかかわらず模擬ベンチュリ径が大きいほど位相遅れは小さくなっており、サブベンチュリ負圧制御のおくれが大きく、吸気管負圧制御のそれが小さいことを裏づけている。模擬ベンチュリ径 10 mm の場合、2 Hz における調節棒応答変位の位相差は約 53° であり、図11に示

すようにサブベンチュリ負圧制御の場合の 2 Hz における回転速度変動に対する調節棒応答変位の位相差は 53°~64° (800 rpm の時は 53°) だから<sup>(4)</sup> 両者はほぼ一致しているといえる。なお、短周期変動流量を零にしてみたところ、噴射量調節棒の減衰が増大して動かなくなることがわかった。このことは、第1報の4.1節<sup>(1)</sup>でも述べたように 25 Hz ダイナミックダンパによる狭領域ハンチング消滅の原因として挙げることができよう。すなわち、ダイナミックダンパによって調節棒の短周期運動が

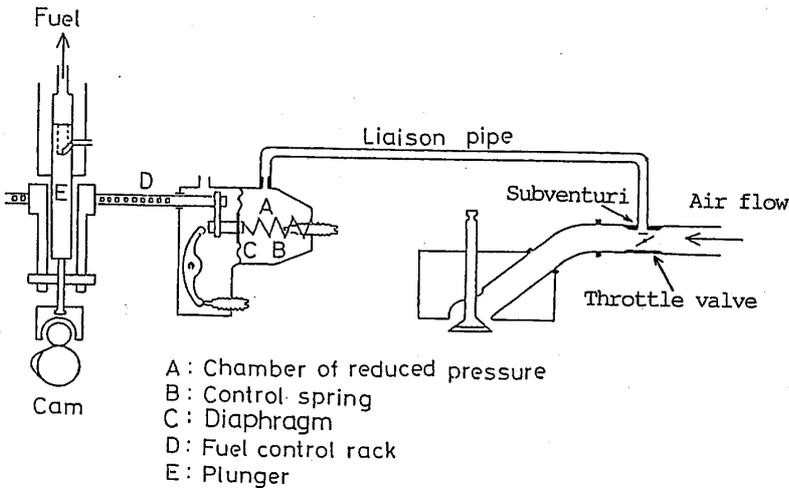


図1 空気を調速機関の噴射量調節機構

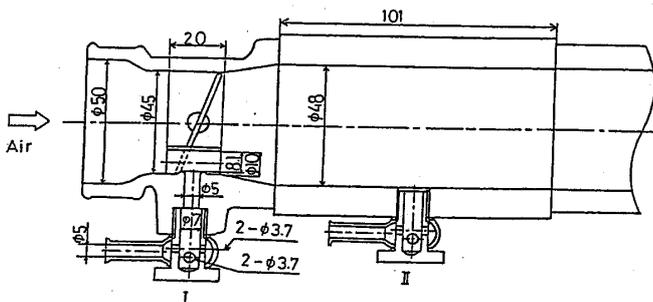


図2 制御負圧取出部構造

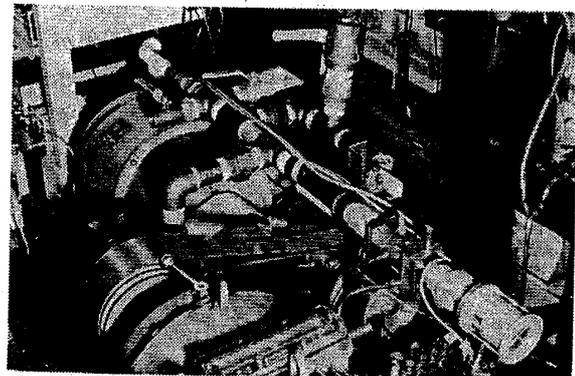


図3 模擬ハンチング流装置の外観

減少すると長周期変動に対する減衰が増大して低速ハンチングが消えるものと推測する。

3. 供試機関に模擬ベンチュリを組込んだ実験

図12に示すように供試機関の絞り弁とサブベンチ

ュリの部分に並列に模擬ベンチュリを組込んで、模擬ベンチュリの負圧取出口をダミーポンプに結び、サブベンチュリ負圧制御で機関を運転して750 rpmの最大ハンチング時におけるダミーポンプの噴射量調節棒の応答位相を測定した。その結果を図13の実線に示す。相似で寸法の異なる5種類の模擬ベンチュリにつ

いてハンチング振動数(この場合は1.2~1.4 Hz)における位相遅れを求めた結果である。平均回転速度が一定であることはサブベンチュリ負圧および機関の噴射量調節棒の平均変位が一定であることを意味し、この場合も模擬ベンチュリ径が大きいほど位相遅れは小さくなっている。図13の破線はハンチング振動数に相当する値を模擬ハンチング流装置による実験結果(図

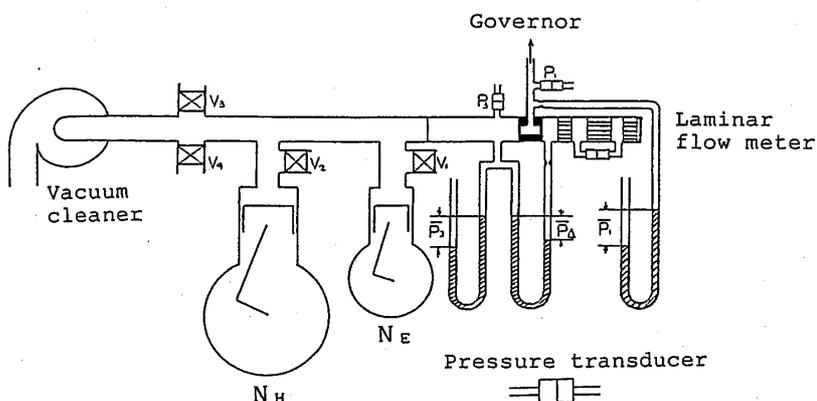


図4 模擬ハンチング流装置概略図

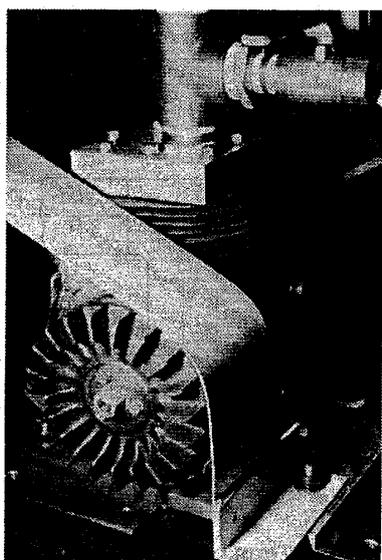


図5 短周期波発生用往復ピストン装置

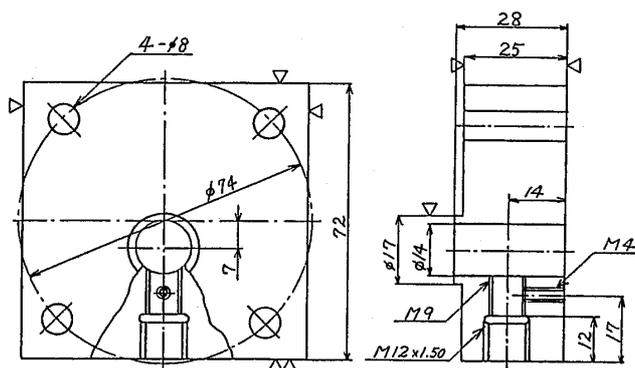


図7 模擬ベンチュリ(φ14)

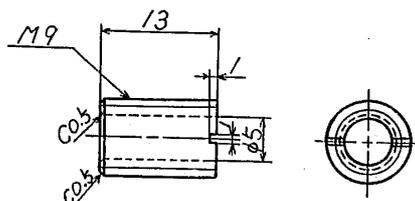


図8 模擬ベンチュリ負圧取出口

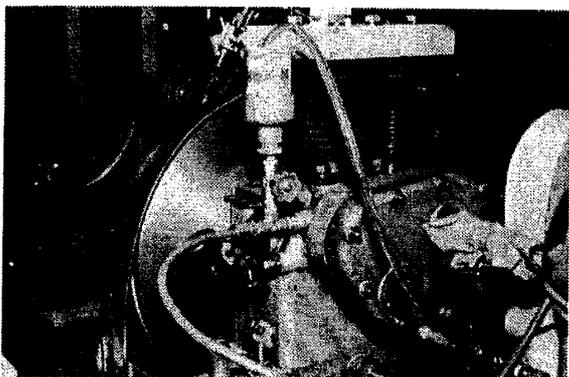


図6 長周期波発生用往復ピストン装置

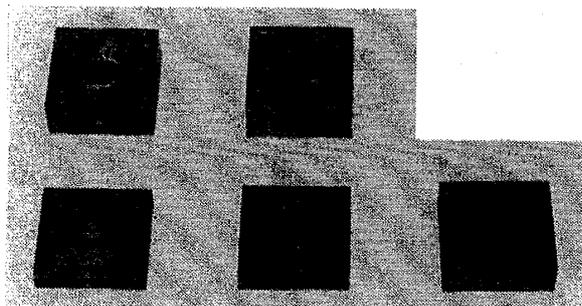


図9 模擬ベンチュリ

12) より補間して求めたものであり、供試機関を用いた場合と模擬ハンチング流装置による場合の差は約5°であって、両者は近い。

図14は吸気管負圧制御(φ48)の場合の周波数応答実験における位相遅れ(補間値)およびφ39に相当する実験における結果<sup>(4)</sup>を図13の結果と同じ図にプロットしたものである。φ39の場合には位相遅れが小さく、ハンチングは起こるが変動がやや小さく発生領域は狭い(740~780 rpm)。φ48の場合には位相遅れはさらに小さくなり(回転速度変動に対する検出負圧の位相遅れは5°~6°であり、非常に小さい)ハンチングは発生しない<sup>(4)</sup>。

4. 低速ハンチング防止の根源対策

前報まで<sup>(1)(4)(6)</sup>に述べたように、サブベンチュリ(φ10)から制御負圧をとる従来の方法では、その位相遅れのために低速ハンチングが発生する。しかしベンチュリ径を大きくすると位相遅れは小さくなり、絞り弁とサブベンチュリに続く吸気管部分(φ48)から負圧を取り出せばハンチングは発生しない。

したがってその防止のためには、絞り弁と並列におかれたサブベンチュリを取り去って、絞り弁にφ10の穴をあけておき、その直後の吸気管大径部分から制御負圧をとればよい。これが低速ハンチングの真因を衝く根源対策である。

5. 結 論

以上の内容を要約すると、

- (1) 元来のサブベンチュリと流路の形が相似で寸法の異なる5種類の模擬ベンチュリをつくり、これを模擬ハンチング流装置に組込んで、負圧導管をダミー噴射ポンプに結び、噴射量調節棒の応答位相に及ぼす模擬ベンチュリ径の影響を調べた。制御負圧の平均値を実機でのそれに近く調節した場合、模擬ベンチュリ径が大きいほど連続的に位相遅れは小さい。
- (2) また機関の絞り弁とサブベンチュリの部分に並列に模擬ベンチュリを組込んで、模擬ベンチュリの負圧取出口をダミー噴射ポンプに結び、750 rpmのハンチング時の位相を測定したところ(1)と同様の結果を示した。

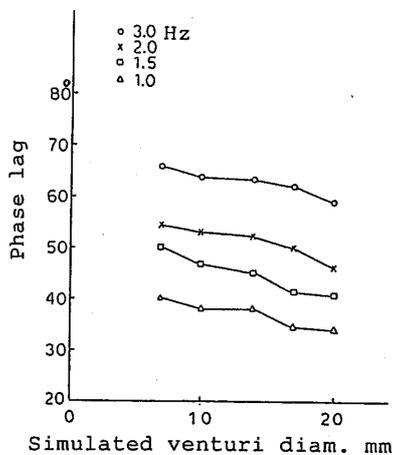


図10 模擬ベンチュリ径と調節棒応答位相遅れの相関

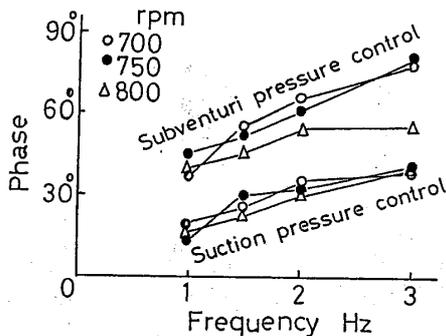


図11 回転速度変動に対する調節棒変位の位相遅れ

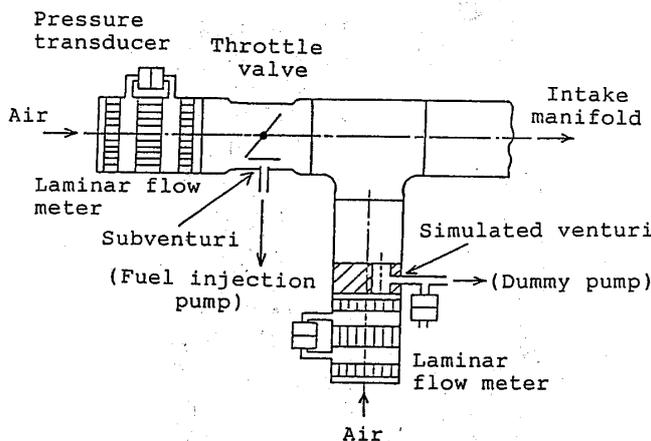


図12 供試機関に模擬ベンチュリを組込んだ実験

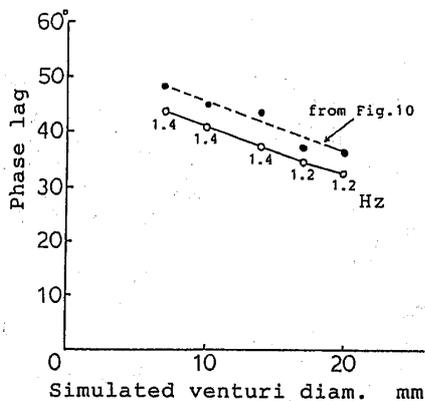


図13 ハンチング時(750 rpm)における模擬ベンチュリ径と調節棒応答位相遅れ

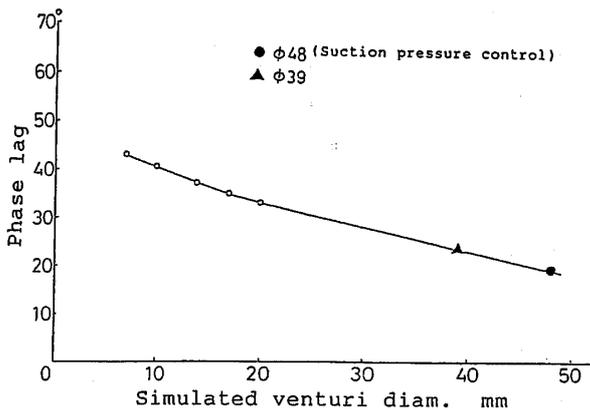


図 14 模擬ベンチュリ径と調節棒応答位相遅れおよび吸気管負圧制御との関連

(3) したがって供試機関系における  $\phi 10$  のサブベンチュリ負圧の位相遅れが大きく、 $\phi 48$  の吸気管負圧の位相遅れが小さいのは、径差による必然的な特性差であることが明らかである。 $\phi 39$  の場合には幾分の位相遅れがあり、ハンチングは起こるが変動がやや小さく発生領域は狭い。

したがって結論として、この研究は空気調速機関に固有の低速ハンチング現象が、サブベンチュリからの

検出負圧の位相遅れによる自励振動であることをはじめて明らかにし、サブベンチュリよりもはるかに太い吸気管から制御負圧をとれば防止できることを明示した。

低速ハンチングの原因およびその根源対策の発見は空気調速方式の再評価を促すであろう。

本研究を進めるにあたり、横浜国立大学工学部・津田公一教授および東京大学工学部・酒井宏教授、大竹祐輔助手にご指導あるいはご援助をいただいた。また2章の装置のほとんどは昭和56年度卒業研究実験として、津田公一教授の指導のもとに当時東大学生・佐藤滋、林正明の両氏に製作していただき、模擬ベンチュリの製作には昭和55年東大研究生（韓国機械研究所）Oh, Koonsup 氏の協力を得た。そのほかにも多くの方々のお世話になった。厚くお礼申しあげる。

#### 文 献

- (1) 川副, 機論, 51-461, B (昭60), 404.
- (2) 藤平, 内燃機関, 4-37 (昭40), 23.
- (3) 石丸, 自動車技術, 19-11 (昭40), 845.
- (4) 川副, 機論, 51-462, B (昭60), 721.
- (5) 川副, 機論, 51-466, B (昭60).
- (6) 川副, 機講論, No. 841-2 (昭59-11), 67.